



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 892 158 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
20.01.1999 Patentblatt 1999/03

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: F01N 3/08

(21) Anmeldenummer: 98112705.3

(22) Anmeldetag: 09.07.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 19.07.1997 DE 19731131  
19.07.1997 DE 19731129  
23.07.1997 DE 19731624

(71) Anmelder:  
Volkswagen Aktiengesellschaft  
38436 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder:  
Pott, Ekkehard, Dipl.-Ing.  
38518 Gifhorn (DE)

### (54) Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der De-Sulfatierung bei NOx-Speicherkatalysatoren

(57) Durch Messen der Temperaturen mittels Temperatursensoren T1 und T2 unmittelbar vor und nach dem NOx-Speicher einer Brennkraftmaschine kann durch entsprechende Steuerung des Fett-Mager-Betriebes eine Erhitzung des Katalysators auf oberhalb der De-Sulfatierungstemperatur erzielt werden, wobei nach

erfolgter De-Sulfatierung beim Dieselmotor unmittelbar auf normalen Betrieb zurückgegangen wird, während beim Ottomotor kurzfristig ein  $\lambda = 1$  Betrieb vor Rückkehr zu normalem Fett-Mager-Betrieb eingestellt wird.

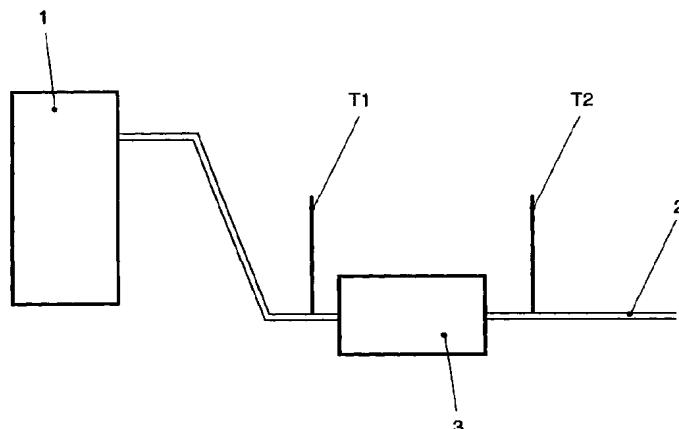


FIG. 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung und Steuerung der De-Sulfatierung bei NOx-Speicherkatalysatoren, die Brennkraftmaschinen vom Otto- oder Dieselmotortyp zur Abgasreinigung nachgeschaltet sind.

NOx-Speicherkatalysatoren werden während des Betriebs durch den im Kraftstoff enthaltenen Schwefel und dessen Einlagerung als Sulfat in dem NOx-Speicherkatalysator vergiftet, so daß die NOx-Aufnahme des Speicherkatalysators behindert oder insgesamt verhindert wird. Es ist daher in periodischen Abständen eine Entschwefelung bzw. eine De-Sulfatierung des NOx-Speicherkatalysators durchzuführen. Es ist bekannt, daß eine Schwefelvergiftung des NOx-Speicherkatalysators überwiegend oder vollständig reversibel ist, sofern in reduzierender Umgebung eine De-Sulfatierungs-Mindesttemperatur überschritten wird.

Bei magerbetriebenen Ottomotoren kann in jedem Betriebszustand bei Inkaufnahme eines entsprechenden Mehrverbrauchs mit stöchiometrischem oder fettem Luft-Kraftstoff-Gemisch gefahren werden. Durch Maßnahmen wie eine Spätzündung des Motors ist überdies die Abgastemperatur in weiten Grenzen variierbar, so daß übliche De-Sulfatierungstemperaturen von ca. 650 °C in nahezu jedem Kennfeldbereich eines Ottomotors erzielt werden können.

Derzeit bekannte NOx-Speicherkatalysatoren können oberhalb von ca. 550 °C unter mageren Bedingungen kein NOx mehr einlagern und zeigen starke Alterungseffekte beim Überschreiten von ca. 800 °C.

Bei Dieselmotoren kann ein länger andauernder Betrieb mit  $\lambda \leq 1$  wegen der damit verbundenen Minderleistung und der ansteigenden Partikelemissionen nicht durchgeführt werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur gesteuerten De-Sulfatierung von NOx-Speicherkatalysatoren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, die eine geregelte Desulfatierung ohne Zerstörung des NOx-Speicherkatalysators auf einfache Weise ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 und die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 13 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur De-Sulfatierung eines einer Brennkraftmaschine nachgeschalteten NOx-Speichers, das die folgenden Schritte aufweist:

- Vorliegen der Notwendigkeit einer De-Sulfatierung des NOx-Speichers,
- Einleiten und Durchführen einer abgastemperatursteigernden Maßnahme, mit der der NOx-Speicherkatalysator auf oberhalb einer vorbestimmten De-Sulfatierungstemperatur erhitzt wird,

- De-Sulfatieren des NOx-Speichers durch Fettbetreiben des Motors, und
- Einleiten des Normalbetriebs der Brennkraftmaschine nach der Beendigung des De-Sulfatierungsschritts.

Weiterhin wird die abgastemperatursteigernde Maßnahme so gesteuert, daß die Temperatur des NOx-Speicherkatalysators immer unterhalb der Alterungstemperatur des NOx-Speichers liegt. Vorzugsweise liegt die maximale NOx-Speichertemperatur um einen vorbestimmten Sicherheitsabstand unterhalb der Alterungstemperatur.

Bei einer Brennkraftmaschine des Typs Ottomotor wird der Motor nach dem Vorliegen (Erkennen) der Notwendigkeit einer Entschwefelung stöchiometrisch betrieben, bevor eine abgastemperatursteigernde Maßnahme eingeleitet wird. Die abgastemperatursteigernde Maßnahme kann durch Verstellen des Zündzeitpunktes auf einen späteren Zeitpunkt erzielt werden.

Vorzugsweise wird bei einer Brennkraftmaschine des Typs Ottomotor unmittelbar nach dem De-Sulfatierungsschritt ein Betrieb mit  $\lambda = 1$  durchgeführt, bevor nach dem Unterschreiten eines vorbestimmten zweiten Sicherheitsabstandes zur Alterungsschwelle der Fett-Mager-Betrieb des Motors wieder aufgenommen wird. Vorzugsweise beträgt der zweite Sicherheitsabstand ca. 100 °C.

Ferner wird bei einer Brennkraftmaschine des Typs Dieselmotor nach der Erkennung der Notwendigkeit einer De-Sulfatierung zuerst eine NOx-Regeneration durchgeführt, bevor eine katalysatortemperatursteigernde Maßnahme eingeleitet wird. Die NOx-Regeneration wird durch einen Betrieb mit  $\lambda < 1$  durchgeführt.

Vorzugsweise wird die katalysatortemperatursteigernde Maßnahme bei Dieselmotoren durch eine Verstellung des Spritzbeginnzeitpunkts, Änderung der EGR-Rate (Abgasrückführrate), Absenken des Ladedrucks, partielle Androsselung, kombinierter Fett-Mager-Betrieb, Einspritzen von Kraftstoff in die Abgasanlage vor dem Katalysator oder eine Nacheinspritzung bei CR-Motoren (common-Rail) durchgeführt. Ferner kann eine Anfettung beispielsweise durch Saugluftdrosselung und/oder EGR-Anhebung und/oder Nacheinspritzung und/oder Ladedrucksenkung erzielt werden.

Bei Dieselmotoren wird der Motorennormalbetrieb unmittelbar nach Beendigung der De-Sulfatierung wieder aufgenommen.

Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfaßt eine Brennkraftmaschine mit nachgeschaltetem NOx-Speicher, wobei unmittelbar vor und nach dem NOx-Speicher jeweils ein Temperatursensor zur Messung der Abgastemperatur angeordnet ist.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert, in denen:

Fig. 1 schematisch die Vorrichtung zur Überwa-

chung der De-Sulfatierung sowohl für einen Otto- als auch einen Dieselmotor zeigt,

Fig. 2 den schematischen Ablauf einer De-Sulfatierung beim Mager-Otto-Motor zeigt, und

Fig. 3 schematisch den Desulfatierungsablauf beim Dieselmotor zeigt.

Fig. 1 zeigt die erfundungsgemäße Vorrichtung zur De-Sulfatierung einer Brennkraftmaschine bestehend aus einem Motor 1 sowie einer Abgasanlage 2, die einen NOx-Speicherkatalysator 3 sowie Temperaturfühler T1 und T2 aufweist, die unmittelbar vor und nach dem NOx-Speicherkatalysator 2 angeordnet sind. Aus der Figur ist erkennbar, daß der Temperaturfühler T1 die Abgastemperatur unmittelbar vor dem NOx-Speicher 3 mißt, während der Temperaturfühler T2 die Abgastemperatur unmittelbar nach dem NOx-Speicher 3 mißt.

Fig. 2 zeigt schematisch den Ablauf einer De-Sulfatierung am Mager-Otto-Motor 1. Dargestellt ist der zeitliche Ablauf gegenüber der Abgastemperatur sowie dem aktuellen  $\lambda$ -Wert. Dabei stellt die Kurve I den Verlauf der Temperatur am ersten Temperaturfühler T1, die Kurve II den Temperaturverlauf am zweiten Temperaturfühler T2 und Kurve III den Verlauf von  $\lambda$  dar.

Aus dem üblichen alternierenden Fett-Mager-Betrieb heraus wird beim Vorliegen der Notwendigkeit eines Entschwefelungsvorgangs zunächst der Motor stöchiometrisch betrieben und eine abgastemperatursteigernde Maßnahme (Punkt A der Kurve III) - z.B. Spätzündung - eingeleitet, bis die Temperatur am Temperatursensor T1 vor dem Speicherkatalysator um einen Sicherheitsabstand (z.B. 50 °) unter der Alterungsschwelle liegt, die ca. 800 °C bei heute üblichen NOx-Speicherkatalysatoren beträgt.

Als Folge der steigenden Abgastemperatur und der möglicherweise zunehmenden Schadstoffmenge im Abgas nimmt die Temperatur am Temperatursensor T2 hinter dem NOx-Speicherkatalysator ebenfalls zu. Falls zu erkennen ist, daß durch die katalytische Reaktion im NOx-Speicherkatalysator die Alterungsschwelle überschritten wird, beispielsweise durch zu schnellen Temperaturanstieg im Kurvenpunkt B der Kurve I, wird die abgastemperatursteigernde Maßnahme in ihrer Wirkung zurückgenommen (Punkt C der Kurve I). Die Gefahr einer internen Überhitzung des NOx-Speichers 3 ist wahrscheinlich, wenn die Temperatur-Anstiegs geschwindigkeit in der Nähe der Alterungsschwelle so hoch ist, daß ohne Änderung der abgastemperatursteigernden Maßnahme mit einem Überschreiten der Alterungsschwelle gerechnet werden muß.

Wenn vor und nach dem NOx-Speicherkatalysator 3 die De-Sulfatierungs-Temperaturschwelle überschritten ist (Punkt D der Kurve II), wird der Motor 1 solange fett betrieben (von Punkt E bis Punkt F der Kurve III), bis die Sulfatbeladung sicher abgebaut worden ist. Dauer

und Maß der Anfettung richten sich nach der errechneten oder geschätzten Schwefelbeladung. Im unmittelbaren Anschluß an die De-Sulfatierung (Punkt F der Kurve III) ist ein Magerbetrieb des Motors 1 unbedingt zu vermeiden, da wegen der hohen Katalysatortemperatur ohnehin noch kein NOx eingelagert wird und auf dem HC- und CO-gesättigten Träger die Zugabe von Sauerstoff zu einer sicheren Überschreitung der Altersschwelle zumindest in einem Teil des Speicherkatalysators 3 führen wird. Günstiger ist ein weiterer kurzfristiger Betrieb mit  $\lambda = 1$ , jedoch ohne abgastemperatursteigernde Maßnahmen, um ein allmähliches Absinken der Katalysatortemperatur herbeizuführen.

Erst nach Unterschreiten eines zweiten Sicherheitsabstandes (ca. 100 °) zur Alterungsschwelle hin (Punkt G der Kurve II) wird ein Fett-Mager-Betrieb des Motors 1 wieder zugelassen. Dabei kann möglicherweise im Speicher 3 kurzzeitig die NOx-Thermo-Desorptionsschwelle überschritten werden; bei den relativ niedrigen Abgastemperaturen magerer Ottomotor-Fahrzeuge ist jedoch anschließend mit einem raschen Unterschreiten der NOx-Thermo-Desorptionsschwelle zu rechnen.

Fig. 3 zeigt den schematischen zeitlichen Ablauf einer De-Sulfatierung eines Dieselmotors 1. Die Bezeichnung der Kurven entspricht derjenigen der Fig. 2. Bei Dieselmotoren kann die Entschwefelung nicht in derselben Weise wie bei mageren Ottomotoren durchgeführt werden, da ein länger andauernder Betrieb mit  $\lambda \leq 1$  wegen der Minderleistung und der ansteigenden Partikelemissionen nicht möglich ist. Daher wird mit Blick auf die NOx-Thermo-Desorptionsschwelle beim Erkennen der Notwendigkeit einer Entschwefelung zunächst eine NOx-Regeneration durchgeführt, so daß die Katalysatoraufheizung bei entleertem NOx-Speicher 3 erfolgt. Anschließend wird bei magerem Abgas eine katalysatortemperatursteigernde Maßnahme (Punkt A der Kurve III) ergriffen, beispielsweise durch Spritzbeginnverstellung, Änderung der EGR-Rate (Abgasrückführrate), Absenken des Ladedrucks, partielle Androsselung, kombinierter Fett-Mager-Betrieb, Einspritzen von Kraftstoff in die Abgasanlage vor dem Katalysator, Nacheinspritzung (nur bei Common-Rail-Motoren). Die Abgastemperatur des Temperatursensors T1 vor dem Katalysator 3 wird analog zu Mager-Otto-Motoren mit 50 ° Sicherheitsabstand zur Alterungsschwelle eingestellt.

Durch Überwachung der Abgastemperatur des Temperatursensors T2 hinter dem NOx-Speicher 3 wird wie beim Ottomotor sichergestellt, daß durch Oxidationsreaktionen auf der NOx-Speicheroberfläche keine Überhitzung stattfindet (Punkt B der Kurve II); gegebenenfalls wird durch teilweise Rücknahme der katalysatortemperatursteigernden Maßnahme (Punkt C der Kurve I) eine thermische Schädigung vermieden. Sobald die Temperatur nach dem Katalysator am Temperatursensor T2 die De-Sulfatierungsgrenze über-

schritten hat (Punkt D der Kurve II), wird die De-Sulfatierung durch Anfetten des Abgases eingeleitet (Punkt E der Kurve III). Dauer der Anfettung und der Wert von  $\lambda$  während der Fett-Phase richten sich wiederum nach der errechneten oder geschätzten Schwebelbeladung. Die Anfettung kann analog zur NOx-Regeneration, beispielsweise durch Saugluftdrosselung, EGR-Anhebung, Nacheinspritzung oder Ladedrucksendung erfolgen.

Nach Beendigung der De-Sulfatierung (Punkt F der Kurve III) kann kein längerer Betrieb mehr mit  $\lambda \leq 1$  aufrechterhalten werden; es wird daher sofort wieder der normale Betriebsmodus eingestellt. Wegen der üblicherweise sehr niedrigen Abgastemperaturen bei Dieselmotoren und der resultierend raschen und starken Auskühlung ist trotz der nach der Entschwefelung auftretenden Oxidationsreaktionen nur eine kleine NOx-speicherinterne Temperaturspitze zu erwarten.

#### BEZUGSZEICHENLISTE

1	- Motor	20
2	- Abgasanlage	
3	- NOx-Speicherkatalysator	
T1	- Temperaturfühler 1	25
T2	- Temperaturfühler 2	
I	- Temperaturverlauf T1	
II	- Temperaturverlauf T2	
III	- Verlauf $\lambda$	
A	- Einleiten KTM	30
B	- Temperaturanstieg zu schnell	
C	- Rücknahme KTM	
D	- Überschreiten De-Sulfatierungstemperatur	
E	- Einleiten De-Sulfatierung	
F	- Ende De-Sulfatierung	35
G	- Fett-Mager-Betrieb	
KTM	- Katalysatortemperatursteigernde Maßnahme	

#### Patentansprüche

- Verfahren zur De-Sulfatierung eines einer Brennkraftmaschine (1) nachgeschalteten NOx-Speichers (3), das die folgenden Schritte aufweist:
  - Vorliegen der Notwendigkeit einer Entschwefelung,
  - Einleiten und Durchführen einer abgastemperatursteigernden Maßnahme, mit der der NOx-Speicherkatalysator (3) mindestens auf eine vorbestimmte De-Sulfatierungstemperatur und höchstens auf eine vorbestimmte Höchsttemperatur erhitzt wird,
  - De-Sulfatieren des NOx-Speichers durch Fettbetreiben der Brennkraftmaschine (1), und
  - Einleiten des Normalbetriebs der Brennkraftmaschine (1) nach der Beendigung des De-Sulfatierungsschritts.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abgastemperatursteigernde Maßnahme so gesteuert wird, daß die Temperatur des NOx-Speicherkatalysators (3) immer unterhalb der Alterungstemperatur des NOx-Speichers (3) liegt.
- Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale NOx-Speichertemperatur um einen vorbestimmten Sicherheitsabstand unterhalb der Alterungstemperatur liegt.
- Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Brennkraftmaschine (1) des Typs Ottomotor der Motor (1) nach dem Erkennen der Notwendigkeit einer Entschwefelung stöchiometrisch betrieben wird, bevor eine abgastemperatursteigernde Maßnahme eingeleitet wird.
- Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die abgastemperatursteigernde Maßnahme durch Verstellen des Zündzeitpunktes auf einen späteren Zeitpunkt erzielt wird.
- Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Brennkraftmaschine (1) des Typs Ottomotor unmittelbar nach dem De-Sulfatierungsschritt ein Betrieb mit  $\lambda = 1$  durchgeführt wird, bevor nach dem Unterschreiten eines vorbestimmten zweiten Sicherheitsabstandes zur Alterungsschwelle der Fett-Mager-Betrieb des Motors (1) wieder aufgenommen wird.
- Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Sicherheitsabstand ca. 100 °C beträgt.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Brennkraftmaschine (1) des Typs Dieselmotor nach der Erkennung der Notwendigkeit einer De-Sulfatierung zuerst eine NOx-Regeneration durchgeführt wird, bevor eine katalysatortemperatursteigernde Maßnahme eingeleitet wird.
- Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die NOx-Regenerationen durch einen Betrieb mit  $\lambda < 1$  durchgeführt wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die katalysatortemperatursteigernde Maßnahme durch eine Spritzbeginnzeitpunktverstellung, Änderung der EGR-Rate, Absenken des Ladedrucks, partielle Androsselung, kombinierter Fett-Mager-Betrieb, Einspritzen von Kraftstoff in die Abgasanlage vor

dem Katalysator oder eine Nacheinspritzung bei CR-Motoren (1) oder eine Kombination einer oder mehrerer dieser Maßnahmen durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, 5  
**dadurch gekennzeichnet**, daß eine Anfettung beispielsweise durch Saugluftdrosselung, EGR-Anhebung, Nacheinspritzung, Ladedrucksenkung oder eine Kombination einer oder mehrerer dieser Maßnahmen erzielt wird.

10

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Motornormalbetrieb unmittelbar nach Beendigung der De-Sulfatierung wieder aufgenommen wird.

15

13. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Vorrichtung aus einer Brennkraftmaschine (1) mit nachgeschaltetem NOx-Speicher (3) besteht und 20 unmittelbar vor und nach dem NOx-Speicher jeweils einen Temperatursensor (T1, T2) zur Messung der Abgastemperatur angeordnet ist.

20

25

30

35

40

45

50

55

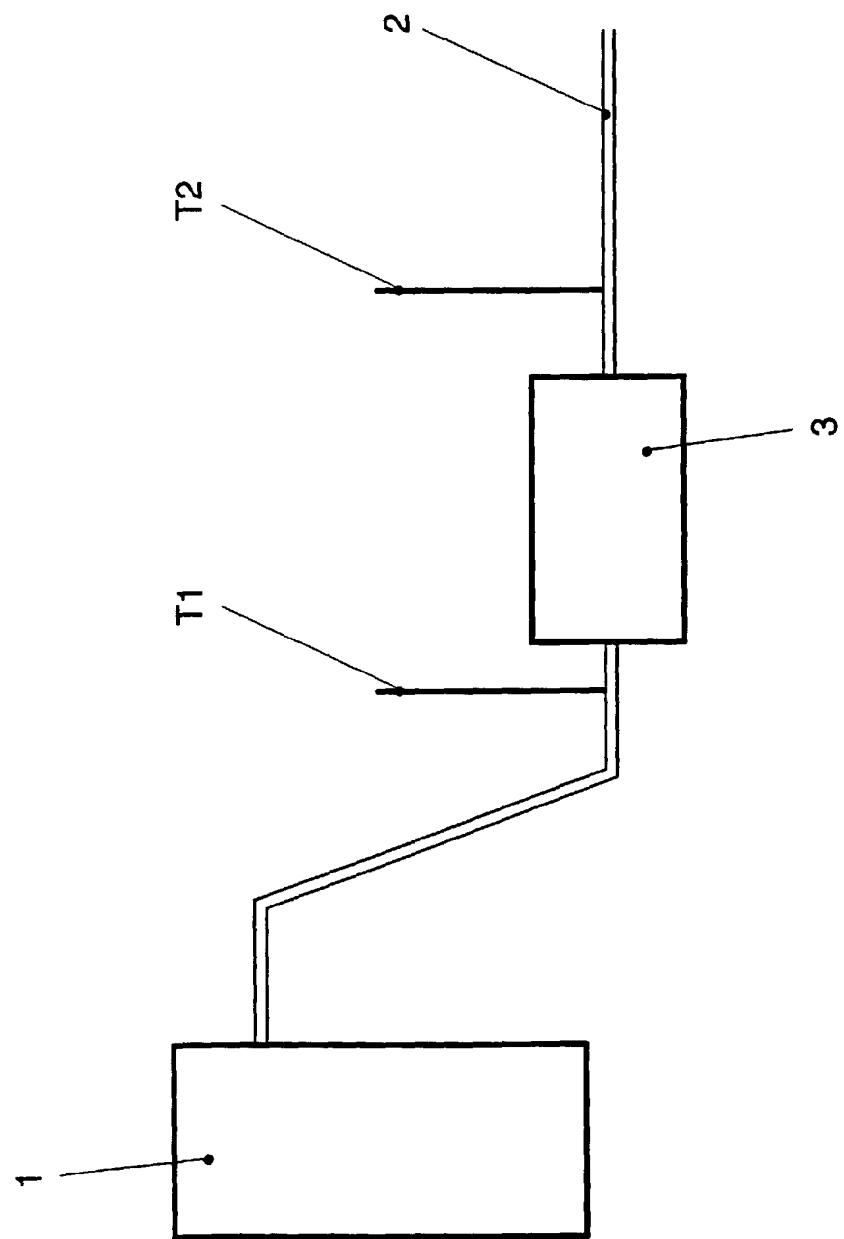


FIG. 1

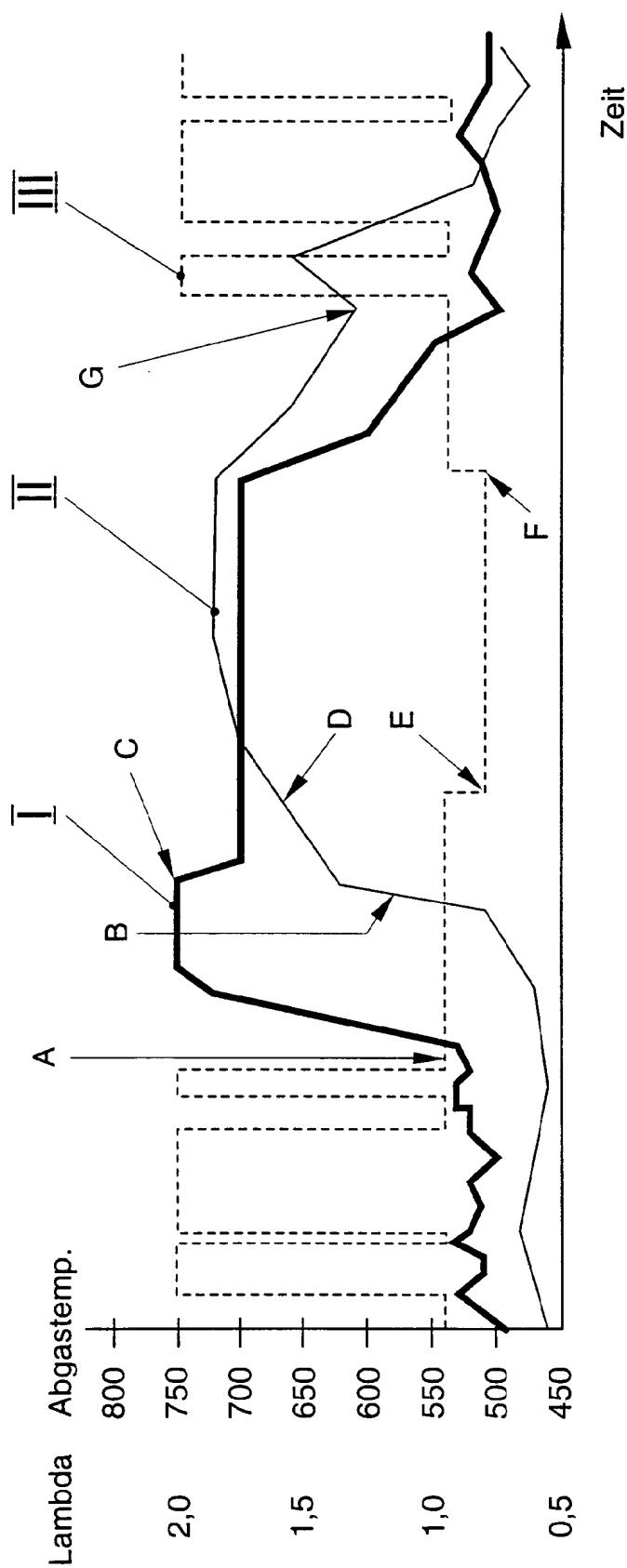


FIG. 2

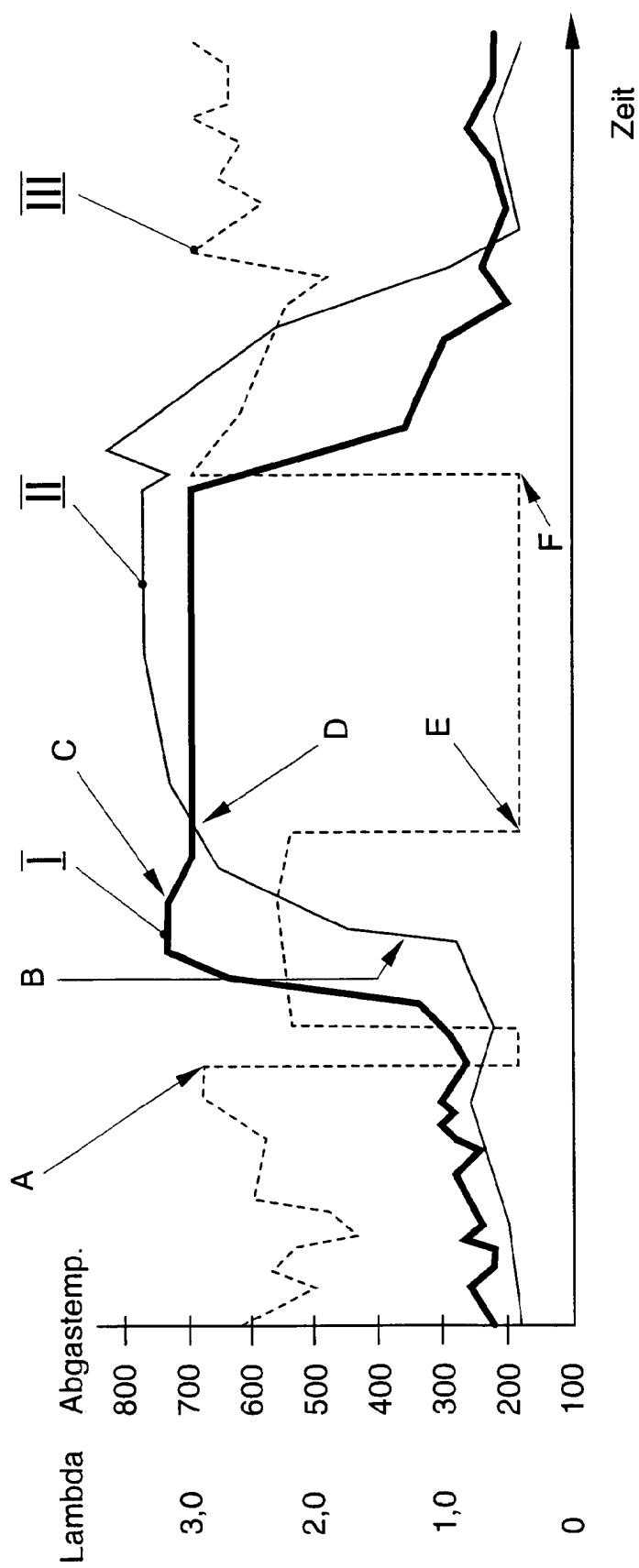


FIG. 3